

## **АНТЕННА СИСТЕМА ДЛЯ НЕСТАБІЛІЗОВАНИХ НАНО- ТА ШКОСУПУТНИКІВ**

*Парфьонов Г. В.; Антипенко Р. В. к.т.н., доц.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

У сучасних сузір'ях малих апаратів ключовим завданням є забезпечення стабільного міжсупутникового зв'язку за умов обмежених ресурсів, відсутності стабілізації та постійної зміни орієнтації апаратів у польоті. Для 1U CubeSat це питання стоїть особливо гостро, адже застосування повноцінної системи визначення та керування орієнтацією (ADCS) суттєво ускладнює конструкцію та підвищує енергоспоживання [1]. У зв'язку з цим була запропонована комутаційна система, яка дозволяє підтримувати зв'язок без використання ADCS. Ідея базується на архітектурі, в якій розміщується по одній патч антені на грань кубсату. При цьому у будь-який момент часу активна лише одна антена, її вибір здійснюється на основі детекції пілот-тону хаб-супутника [2]. В даній статті буде розглянута можливість реалізації даної системи для 1U CubeSat.

Архітектура фізично реалізується шістьма майже квадратними патч-елементами з одноточковим коаксіальним живленням. Геометрія патчу та положення точки живлення були попередньо обчислені аналітично для частоти 5.8 ГГц [3]; подальша оптимізація антени проводилась за допомогою повнохвильового 3D-моделювання. Воно охоплювало два варіанта моделі: на підкладках PTFE ZYF300CA-P та Rogers RO4350B ( $h=1,524$  мм). Основними критеріями, які впливали на фінальний вибір були: коефіцієнт відбиття, коефіцієнт підсилення, ширина діаграми спрямованості на рівні половини потужності (HPBW) та коефіцієнт осьового відношення (AR) у секторі  $\theta \in [0^\circ; 50^\circ]$ ,  $\varphi \in [0^\circ; 360^\circ]$ . Також додатково було виконано симуляції з урахуванням інтегрованих сонячних панелей.

Результати моделювання показали, що PTFE-варіант демонструє найкращий коефіцієнт підсилення та якість кругової поляризації: коефіцієнт відбиття  $< -25$  дБ, коефіцієнт підсилення (4,1–6,1) дБі, AR  $< 5,6$  дБ у робочому секторі та HPBW  $> 110^\circ$ . Вплив інтегрованих сонячних панелей не перевищує 0,5 дБ у ключових показниках, тобто інтеграція панелей є інженерно прийнятною без спеціальних екранів. Моделювання наочно підтверджує, що при перемиканні елементів досягається повне покриття простору (Рис.1, Рис. 2).

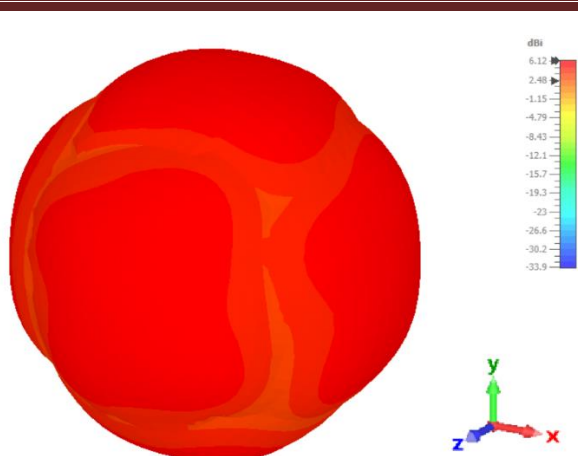


Рис. 1. Коефіцієнт підсилення системи з шести антен

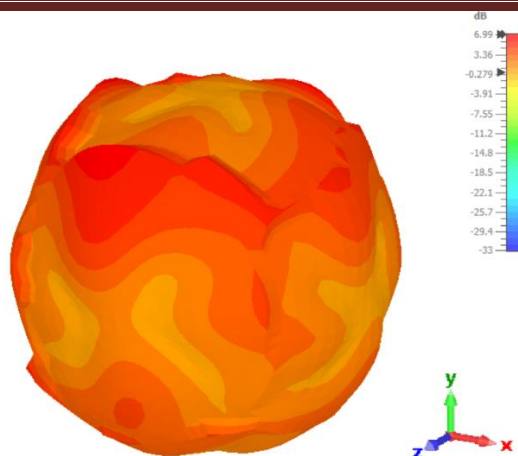


Рис. 2. Коефіцієнт кругової поляризації системи з шести антен

Бюджет радіолінії (Рис. 3) при потужності передавача в 100 мВт складає приблизно  $[-80; -76]$  дБм [4]. При використанні QPSK модуляції це відповідає стабільному радіозв'язку на відстані 1,5 км, що робить рішення придатним для його використання в сузір'ях нано- та пікосупутників. Варто підкреслити, що фактична дальність залежить від обраних параметрів модуляції, швидкості передачі, кодування, системного запасу та статистики орієнтацій, тому для остаточної валідації необхідні виміри на прототипі.

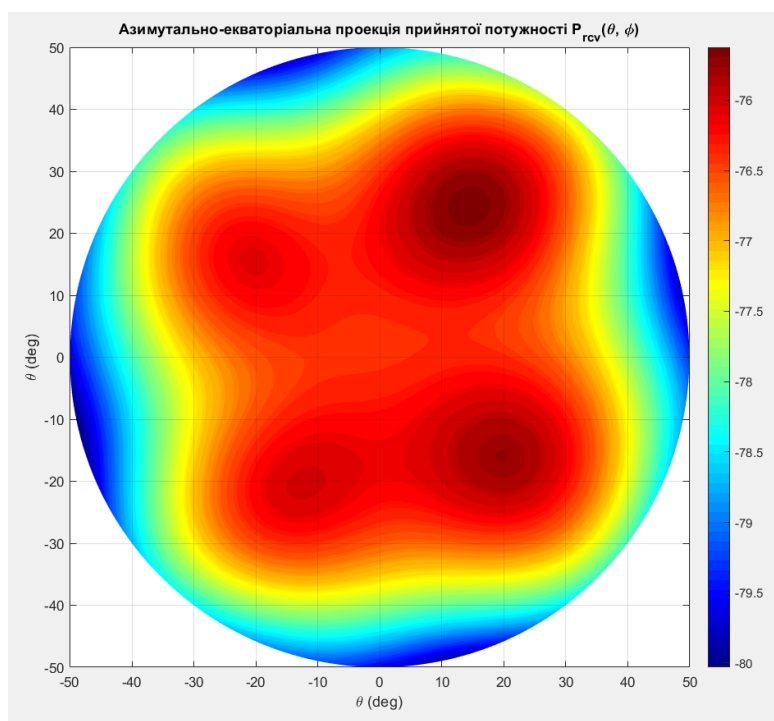


Рис. 3. Бюджет радіолінії

Отже, обрана архітектура забезпечує всестороннє покриття з девіацією сигналу на 4 дБм в крайових випадках. PTFE ZYF300CA-P рекомендований для прототипу через кращий коефіцієнт підсилення та AR. Необхід-

ні подальші роботи — виготовлення прототипу, вимірювання у безлунній камері, тестування часових характеристик перемикачів та оптимізація алгоритму комутації під реальні динаміки обертання супутників. Крім того, рекомендовано розглянути масштабування на 10 ГГц для зменшення габаритів антен при збереженні архітектури.

**Перелік посилань:**

1. Abbas N. N., et al. An Architecture Analysis of ADCS for CubeSat: A Recipe for ADCS Design of ICUBE. *Applied Mechanics and Materials*. 2011. Vol. 110–116. pp. 5397–5404. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.110-116.5397.
2. Парфьонов Г. В., Антипенко Р. В.. Проблеми радіообміну в сузір'ях пікосупутників. *Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи*. 2024. №. 1(15). Р. 42–44.
3. Balanis C. A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 4th ed. Wiley, 2016. 1104 p. ISBN 978-1-118-64206-1.
4. Pozar D. M. *Microwave Engineering*. 4th ed. Wiley, 2011. 756 p. ISBN 978-0-470-63155-3.

**Анотація**

У роботі подано результати моделювання та оптимізації шестиелементної комутаційної антенної системи для нестабілізованих 1U CubeSat, призначеної для міжсупутникового зв'язку без застосування ADCS. Запропонована архітектура забезпечує повне кутове покриття при перемиканні між антенами. Повнохвильове моделювання на частоті 5.8 ГГц підтвердило придатність підкладки PTFE ZYF300CA-P, яка демонструє коефіцієнт відбиття  $< -25$  dB,  $AR < 5.6$  dB і  $HPBW > 110^\circ$ , що забезпечує стабільність каналу до 1.5 км при потужності передавача 100 мВт. Розглянуто особливості реалізації, вплив сонячних панелей та рекомендації щодо прототипування.

**Ключові слова:** пікосупутник, наносупутник, бюджет радіолінії, міжсупутниковий зв'язок, сузір'я пікосупутників

**Abstract**

This work presents simulation and optimization results of a six-element switching antenna system for non-stabilized 1U CubeSats intended for short-range inter-satellite links without ADCS. The proposed architecture ensures full angular coverage through face-to-face switching. Full-wave simulations at 5.8 GHz confirm the suitability of the PTFE ZYF300CA-P substrate, achieving reflection coefficient  $< -25$  dB,  $AR < 5.6$  dB, and  $HPBW > 110^\circ$ , enabling reliable links up to 1.5 km with 100 mW transmit power. Implementation aspects, solar-panel influence, and recommendations for prototyping are discussed.

**Keywords:** picosatellite, nanosatellite, radio link budget, inter-satellite communication, picosatellite constellation